

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-152399

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月9日

(51) Int.Cl.<sup>9</sup>

識別記号

F I

C 3 0 B 29/40

5 0 2

C 3 0 B 29/40

5 0 2 D

H 0 1 L 21/203

H 0 1 L 21/203

M

21/205

21/205

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数20 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-228860

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月11日

(31) 優先権主張番号 特願平8-278978

(32) 優先日 平8(1996) 9月30日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 尾内 敏彦

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

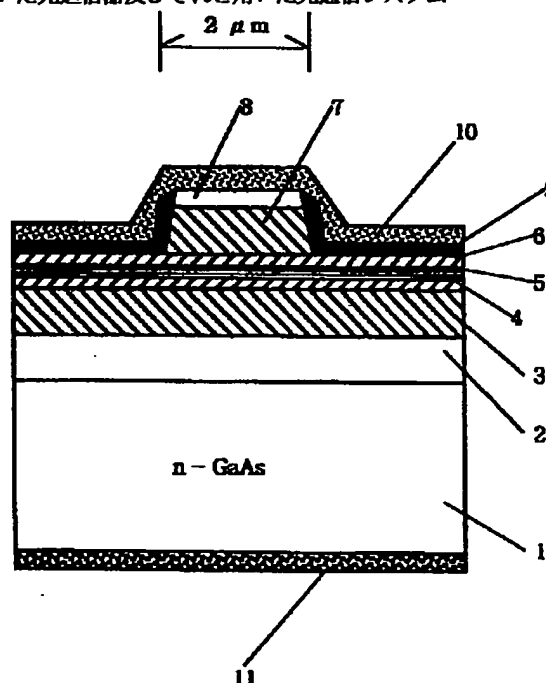
(74) 代理人 弁理士 加藤 一男

(54) 【発明の名称】 化合物半導体積層構造を含むデバイスの作成方法及び化合物半導体積層構造の作成方法及びそれを用いて作成するデバイス及びそれを用いた光送信器及びそれを用いた光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 結晶中のV族元素と窒素を置換させる方法を用いた、化合物半導体結晶の作成方法、それを用いて作製された光半導体装置である。

【解決手段】 化合物半導体積層構造を含むデバイスの作成方法において、V族を含む化合物半導体結晶の、このデバイスの機能層の少なくとも一部となる部分に、少なくとも窒素を含む材料を照射して、照射した部分のV族元素を窒素に置換する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】化合物半導体積層構造を含むデバイスの作成方法であって、V族を含む化合物半導体結晶の、このデバイスの機能層の少なくとも一部となる部分に、少なくとも窒素を含む材料を照射して、該照射した部分のV族元素を窒素に置換することを特徴とするデバイスの作成方法。

【請求項2】前記少なくとも窒素を含む材料を照射する部分から、所定の深さまで窒素が置換されるようにすることを特徴とする請求項1に記載のデバイスの作成方法。

【請求項3】前記少なくとも窒素を含む材料を照射する工程と、III-V族化合物半導体結晶を成長させる工程とを交互に行うことを特徴とする請求項1もしくは2に記載のデバイスの作成方法。

【請求項4】前記窒素の置換により、階段状バンドギャグラムの井戸層を含む量子井戸構造を作成することを特徴とする請求項1乃至3いずれかに記載のデバイスの作成方法。

【請求項5】化合物半導体積層構造の作成方法であって、V族を含む化合物半導体結晶に、少なくとも窒素を含む材料を照射して、該照射した部分のV族元素を窒素に置換する工程を有しており、該工程において、窒素が置換される深さは、該窒素が置換された部分の臨界膜厚を超えない範囲であることを特徴とする化合物半導体積層構造の作成方法。

【請求項6】請求項1乃至4いずれかに記載のデバイスの作成方法もしくは請求項5に記載の化合物半導体積層構造の作成方法において、前記窒素の置換を行う部分の下に、窒素に置換されにくい材料を含む部分を設ける工程を有することを特徴とする作成方法。

【請求項7】化合物半導体積層構造の作成方法であって、V族を含む化合物半導体結晶からなる第1の層と、V族を含む化合物半導体結晶からなる第2の層とを形成し、該第2の層の前記第1の層とは反対の側から、少なくとも窒素を含む材料を照射して、該照射した部分のV族元素を窒素に置換するものであり、前記第1の層は、前記第2の層において窒素に置換されるV族元素よりも窒素に置換されにくいV族元素を含むことを特徴とする化合物半導体積層構造の作成方法。

【請求項8】請求項1乃至4いずれかに記載のデバイスの作成方法もしくは請求項7に記載の化合物半導体積層構造の作成方法において、前記窒素の置換は、窒素が所定の深さまで置換され、該所定の深さが、窒素が置換された部分の臨界膜厚を超えないように行うことを特徴とする作成方法。

【請求項9】請求項1乃至4いずれかに記載のデバイスの作成方法もしくは請求項5乃至8いずれかに記載の化合物半導体積層構造の作成方法において、前記窒素の置換は、前記V族元素の一部を窒素に置換するように行う

ことを特徴とする作成方法。

【請求項10】請求項1乃至9いずれかに記載の作成方法において、前記窒素の置換は、前記V族元素のおおよそ20%以下を窒素に置換するように行うことを特徴とする作成方法。

【請求項11】請求項1乃至10いずれかに記載の作成方法において、前記窒素の置換は、該窒素の置換を行った部分の歪みがおおよそ数%以下になるように行うことを特徴とする作成方法。

10 【請求項12】請求項1乃至11いずれかに記載の作成方法において、前記少なくとも窒素を含む材料の照射は、プラズマ化した窒素ガスあるいはアンモニアガスの照射であることを特徴とする作成方法。

【請求項13】請求項1乃至12いずれかに記載の作成方法において、前記少なくとも窒素を含む材料を照射する際に、該照射する部分に含まれるV族元素を照射することを特徴とする作成方法。

20 【請求項14】請求項1乃至13いずれかに記載の作成方法において、前記少なくとも窒素を含む材料を照射する工程の後、化合物半導体結晶の成長を行う工程を有することを特徴とする作成方法。

【請求項15】請求項1乃至14いずれかに記載の作成方法において、前記少なくとも窒素を含む材料を照射する部分には、凹凸が形成されており、前記少なくとも窒素を含む材料の照射により、前記凹凸の凹部に窒素の含有率が大きい部分を作成することを特徴とする作成方法。

【請求項16】請求項1乃至15いずれかに記載の作成方法において、前記少なくとも窒素を含む材料を照射する部分は、InGaAsであり、前記窒素の置換により、InGaAsNとなることを特徴とする作成方法。

【請求項17】請求項1乃至16いずれかに記載の作成方法を用いて作成される化合物半導体積層構造を含むデバイスであって、前記窒素の置換により作成された層が、機能層であることを特徴とするデバイス。

【請求項18】前記窒素の置換により作成された層が、量子井戸層であることを特徴とする請求項17に記載のデバイス。

40 【請求項19】光信号を送信する光送信器であって、請求項17もしくは18に記載のデバイスをレーザとして用いることを特徴とする光送信器。

【請求項20】光信号を伝送する光通信システムであって、光信号を送信する光送信器として請求項19に記載の光送信器を用いることを特徴とする光通信システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、化合物半導体積層構造を含むデバイスの作成方法、化合物半導体積層構造の作成方法、それを用いて作成するデバイス、それを用いた光送信器及びそれを用いた光通信システムに関する

る。

#### 【0002】

【従来の技術】現在、光通信用として用いられている1.3 $\mu$ m帯あるいは1.55 $\mu$ m帯の半導体レーザは、InGaAsP/InP系材料が基本となっている。この材料系では、ヘテロ接合を形成した場合、伝導帯の跳びすなわちバンドオフセット量 $\Delta E_c$ が小さく、温度の上昇によって容易にキャリアがオーバーフローしてしまう。その結果、熱特性が悪い、すなわち温度上昇によるデバイスのしきい値、効率等の悪化が大きな課題となっている。最近になって、Al混晶を導入したAlGaInAsを用いることで、この課題が僅かに改善されたが、温度制御不要な低コストレーザなどとして適用していくためには十分とは言えない。

【0003】一方、V族元素として窒素を導入した系として青色レーザの開発が活発である。窒素組成を微量にした混晶を用いれば、バンドギャップの小さい長波長帯レーザとして利用することができる。例えば、GaAs基板上で、窒素組成0.5%のInGaAsNを量子井戸層としAlGaAsを障壁層とした単一量子井戸レーザにおいて、波長約1.2 $\mu$ mのレーザ発振が報告されている('96 春季応用物理学会予稿集 27p-C-6、近藤他)。この様な窒素を導入した系では、真空準位から伝導帯の底のエネルギーが大幅に下がるため、バンドオフセット量 $\Delta E_c$ が非常に大きく、500meV程度とInGaAsP系の5倍程度の値を示す。そこで、この様なデバイスは、温度特性が大幅に改善され、温度制御なしで高温まで実用的な性能を有する可能性がある。実際、上記のレーザでは特性温度 $T_0=126K$ と通常のInP系のレーザの約2倍も高い値が得られている('96 秋季応用物理学会予稿集 8p-KH-7、近藤他)。

【0004】結晶中に窒素を含有させるには、通常の結晶成長のように成長中に他の元素と同時に窒素を供給する以外に、基板表面に窒素を照射することで結晶中のV族元素と窒素を置換させる、いわゆる窒化という技術もある(山本他、応用物理学会予稿集 第1分冊、1995年、春季28p-ZH-14、28p-ZH-16、1996年、秋季9a-ZF-3)。この窒化技術は、主に青色発光素子や電子デバイスのためのGa系結晶成長用の基板を提供するためのものであり、GaAs基板のAsをNに置き換えてGaN層を表面に形成している。窒化条件としては、例えば、基板温度900℃でNH<sub>3</sub>の100%ガスを3 l/minを10分流し、表面の1 $\mu$ m程度の層をGaNに変えている。また、GaAs基板上にGaNを形成しているため、格子定数差は少なくとも20%位はあり、結晶品質は悪く、単結晶にはなっていない。一方、表面の極薄膜(約10nm)だけGaN層としている例もある(八百他、応用物理学会予稿集 第1分冊、1996年 秋季7a-ZF-

2)。これは、高周波(RF)で励起した窒素プラズマをGaAs基板に照射しているが、基板表面の改質を目的としており、置換する窒素量をコントロールするものではなく、また立方晶のGaNの格子定数に近づけることを目標としている。

#### 【0005】

【発明が解決しようとしている課題】InGaAsNを成長する場合には、例えば、有機金属気相成長法(MOCVD)によって、窒素原料として高周波(RF)励起でプラズマ化したN原子をリアクタに供給すると同時に、他の原料、すなわちアルシン(AsH<sub>3</sub>)、トリメチルインジウム(TMI)、トリエチルガリウム(TEG)などをもリアクタに供給して成長を行なう。その時、窒素の含有量が極端に小さいため、基板温度や他の原料の供給量の僅かな変化により窒素含有量がゆらぎ、その結果、結晶品質、光学特性の低下を招き、しきい値の上昇等につながっている。また、ヘテロ接合を作製する場合に、その界面状態を制御するために、リアクタ内の雰囲気の詳細な制御が必要となる。更に、上記の方法で成長する場合、Nの含有量に限界があって、レーザの発振波長の自由度が小さく、理論値ほどは特性温度を改善することができなかった。

【0006】ここで1.3 $\mu$ m程度の長波長帯で用いようとしているInGaAsNの窒素の含有量は約1%であり、さらに歪み量を1%程度以下に抑えて高品質なヘテロ接合を積層させるには厳密な組成制御が必要になる。そこで、従来の窒化法で成長後に窒素を添加しようとする場合では、窒素置換される量が多すぎて膜厚、組成比、歪み等を制御できず、As等のV族元素が蒸発して表面が荒れるという問題なども生じた。

【0007】上記窒化技術を示す文献、応用物理学会予稿集 第1分冊、1995年、春季28p-ZH-14、28p-ZH-16、1996年、秋季9a-ZF-3、7a-ZF-2では、GaAsのAsを全量窒素に置換することを目的とするものであり、窒素含有量の制御に関しては何ら述べられていなかった。本願の発明者は、窒素を含有する層を形成する方法として、結晶中のV族元素と窒素を置換させる方法を用いると、窒素を含有する層における窒素の含有量を精度よく制御できることを見出した。本願においては、結晶中のV族元素と窒素を置換させる方法を用いた、化合物半導体結晶の作成方法を提供する。特に、本発明者が見出した、結晶中のV族元素と窒素を置換させる方法を用いると、窒素を含有する層における窒素の含有量を精度よく制御できる、という点に基づく化合物半導体結晶の作成方法や、結晶中のV族元素と窒素を置換させる際の精度をより高める方法を提供する。

#### 【0008】

【課題を解決する為の手段】本発明の化合物半導体積層構造を含むデバイスの作成方法は以下の通りである。化

化合物半導体積層構造を含むデバイスの作成方法であって、V族を含む化合物半導体結晶の、このデバイスの機能層の少なくとも一部となる部分に、少なくとも窒素を含む材料を照射して、該照射した部分のV族元素を窒素に置換することを特徴とするデバイスの作成方法。

【0009】本発明で扱うのは、V族元素を含む化合物半導体結晶であり、特にIII-V族化合物半導体結晶である。例えばInGaAsに少なくとも窒素を含む材料を照射することにより、InGaAsN層を形成することができる。

【0010】デバイスの機能層においては、その特性（バンドギャップや屈折率や遷移エネルギーや利得スペクトルなど）を制御する為に、その組成を精度よく制御することが望まれる。本発明においては、窒素置換により機能層を作成するので、機能層の組成、特に窒素組成を精度よく制御することができる。少なくとも窒素を含む材料の照射には、例えばECR (electron cyclotron resonance) やRFでプラズマ化した窒素などを照射すればよい。真空度は $10^{-4}$ Torr以下に保つと好適である。この時、ECRなら投入パワー30W程度、RFなら投入パワー200W程度でよく、GaN系の場合に比較して1桁程度小さい。また、窒素流量も10sccm程度でよく、これもGaN系の場合よりも桁違いに小さい。また、少なくとも窒素を含む材料を照射する前の化合物半導体結晶は、窒素を含んでいても、含んでいなくてもよく、少なくとも窒素を含む材料の照射により、窒素の含有量を補償あるいは増加させることができる。具体的には、照射量や、保持時間や、基板温度を制御することで、容易に窒素の含有の程度を制御できる。窒素の含有量はホトルミネッセンスやRHEED等によりin-situ（その場）評価できる。例えば、窒素を含む層に少なくとも窒素を含む材料を照射する際の窒素の補償量は、そのような窒素の含有量を評価した上で行えばよい。本発明では、少なくとも窒素を含む材料を照射することにより、表面のごく薄い層に窒素を含ませることができ、窒素を含むごく薄い層を得ることができる。例えば、赤外の帯域で必要とされる窒素量程度は十分に置換され、また、量子井戸層を形成することも容易である。本発明により、簡単に品質のよい窒素系III-V族半導体を作成できる。本発明の機能層として適用できる層は様々であるが、例えばこのデバイスがレーザである時には、活性層として窒素を置換した層を用いることができる。また、面発光レーザにおいては、共振器を構成する為の反射ミラーの屈折率を所望に設定する必要があるが、本発明では窒素の置換の程度を良好に制御できる為、機能層である反射ミラー層において窒素置換した層を採用すると好適である。特に、窒素を含有する層はミラー層として用いることにより、屈折率差を大きくでき、また熱特性を大きく改善することができる為、好適である。

【0011】前記少なくとも窒素を含む材料を照射する部分から、所定の深さまで窒素が置換されるようにすることで窒素を含有する層の厚さを制御することができる。

【0012】また、前記少なくとも窒素を含む材料を照射する工程と、III-V族化合物半導体結晶を成長させる工程とを交互に行うことにより、窒素を置換した層を周期的に設けることができる。これにより多重量子井戸構造を容易に形成することができる。

10 【0013】また、前記窒素の置換により、階段状バンドダイヤグラムの井戸層を含む量子井戸構造を作成してもよい。多段の量子井戸構造とすることにより所望の特性のデバイスを得ることができる。

【0014】また、本願に関わる化合物半導体積層構造の作成方法の発明の一つは以下の通りである。化合物半導体積層構造の作成方法であって、V族を含む化合物半導体結晶に、少なくとも窒素を含む材料を照射して、該照射した部分のV族元素を窒素に置換する工程を有しており、該工程において、窒素が置換される深さは、該窒素が置換された部分の臨界膜厚を超えない範囲であることを特徴とする化合物半導体積層構造の作成方法。

20 【0015】臨界膜厚は、窒素が置換された層の歪みの程度によって決まる。例えば、窒素が置換された層の格子定数と、基板側の格子定数の差が大きいと歪みが生じてしまう。臨界膜厚を越えてしまうと、この歪みにより膜質が劣化してしまうので、好ましくないのである。本発明で窒化する層厚としてはおよそ10nm以下が望ましい。

【0016】また、本願に関わる化合物半導体積層構造の作成方法の発明の一つは以下の通りである。化合物半導体積層構造の作成方法であって、V族を含む化合物半導体結晶からなる第1の層と、V族を含む化合物半導体結晶からなる第2の層とを形成し、該第2の層の前記第1の層とは反対の側から、少なくとも窒素を含む材料を照射して、該照射した部分のV族元素を窒素に置換するものであり、前記第1の層は、前記第2の層において窒素に置換されるV族元素よりも窒素に置換されにくいV族元素を含むことを特徴とする化合物半導体積層構造の作成方法。

40 【0017】この発明は、前記窒素の置換を行う部分の下に、窒素に置換されにくい材料を含む部分を設ける工程を有するものである。既に述べた作成方法においても同様な工程を設けてもよい。例えば窒素の置換はある深さ（例えば臨界膜厚や、所望の量子井戸の幅や、所望の反射ミラーの一つの層の厚さ）まで行い、それより深い部分での窒素の置換を抑制したい時には、その部分に窒素に置換されにくいV族元素を含ませればよい。例えば、InGaAsに少なくとも窒素を含む材料を照射する時に、InGaAsの下に、リンを含む層を設けてお

50 けば、リンはAsよりも置換されにくい為、所望の範囲

を超えて窒素置換が進んでしまうことを抑制することができる。

【0018】以上述べてきた発明では、要件として、少なくとも窒素を含む材料を照射して窒素を置換させることを含んでおり、その窒素置換の程度を良好に制御できることから、本発明は、少なくとも窒素を含む材料を照射する部分が含むV族元素のうちの一部を窒素に置換する時に適用するのが好適である。具体的には、V族元素のおおよそ20%以下を窒素に置換したり、窒素の置換を行った部分の歪みがおおよそ数%以下（特に望ましくは1%以下）になるように窒素を置換すれば特に好適であり、膜質（単結晶性や、表面の荒れの少なさなど）も維持することができる。特に活性層として用いる際には、膜質を良好に維持することが重要である。また、窒素を置換した層の上に再成長を行う際にも膜質を良好に維持することが重要である。

【0019】また、前記少なくとも窒素を含む材料の照射は、プラズマ化した窒素ガスあるいはアンモニアガスの照射により行うことができる。プラズマ化した窒素ガスは最初から活性化した窒素であり、アンモニアガスなどの窒素を含む原料は、基板上に照射された後、そこで容易に熱分解されて活性化した窒素を生むのである。

【0020】また、少なくとも窒素を含む材料を照射する際に、該照射する部分に含まれるV族元素を照射してもよい。

【0021】また、少なくとも窒素を含む材料を照射する工程の後、化合物半導体結晶の成長（III-V族化合物半導体のヘテロエピタキシャル成長）を行う工程を有してもよい。少なくとも窒素を含む材料を照射する工程以外の、化合物半導体結晶を成長させる工程においては、少なくとも窒素を含む材料の供給は停止しておくことが望ましい。また、化合物半導体結晶の成長と、少なくとも窒素を含む材料の照射は、ガスソースを導入できる結晶成長装置において、連続して行うことが望ましい。

【0022】また、少なくとも窒素を含む材料を照射する工程の後に成長される層が、窒素が置換された部分の歪みと逆の歪みを有するようにしてもよい。それにより窒素が置換された部分の歪みを緩和することができる。特に、多重量子井戸構造として窒素が置換された層を複数設ける時には、歪み緩和することにより、多数の窒化層を設けることができる。

【0023】また、少なくとも窒素を含む材料を照射する部分に、凹凸を形成しておき、少なくとも窒素を含む材料の照射を行うと、結合ポテンシャルの低い凹部において置換が多く起こる為、選択的に窒素系III-V族半導体を形成することができる。それにより量子細線構造のような微細構造を簡単に作成できる。

【0024】また、上記のような方法で形成した窒素置換層を機能層とすることにより、機能層を精度よく形成

したデバイスを実現できる。例えば半導体レーザである。この半導体レーザは熱特性にも優れる。

【0025】また、階段状のバンドダイアグラムを持つ量子井戸構造により、高速性に優れた半導体レーザ等のデバイスが実現できる。

【0026】また、量子井戸構造によりデバイスのしきい値などの特性を向上できるが、さらに多重量子井戸構造にしてもよい。また、量子細線構造とすることにより更にしきい値を下げた半導体レーザを実現することができる。

【0027】また、GaAs基板を用い、井戸層としてInGaAsを上記方法で窒素処理したInGaAsNを作成し、障壁層にGaAsを用いることで、熱特性に優れた1.3μmから1.55μm帯の特に通信用に適したレーザを実現できる。

【0028】また、面発光レーザの多層（エピタキシャル）ミラーとしてGaAs/AlAsを用いるのに代えて、GaInAsN/AlAsを上記作成方法により作成して用いてもよい。これにより、屈折率差や熱特性を改善することができる。

【0029】又、本発明により作成したレーザとその出力光を変調する制御回路により光信号を出力する光送信器を構成することができる。前記レーザを制御回路により直接変調してもよい。具体的には、レーザに所定の電流あるいは電圧を加えた状態で送信信号に応じて変調された電流を供給すればよい。

【0030】また、上記した作成方法で光受光器を作成することができる。本発明のレーザや受光器は、熱特性に優れる、高速応答性に優れる、高効率であるという特質のうちの少なくとも1つを備える。よって、これらを用いる事によって良質な光送信器や、光受信器を実現することができる。また、これらを用いて実用的で性能のよい光通信システムを実現することができる。

【0031】

【発明の実施の形態】

#### 第1実施例

図1に、本発明による作製方法で作製されたレーザウェハ構造の例を示す。これは共振器方向に垂直な方向での断面を示す。この第1実施例では、先ず、n-GaAs基板1上に、1μm厚のn-GaAsバッファ層2、格子整合した1μm厚のn-InGaPクラッド層3、50nm厚のノンドープGaAs光閉じ込め（Separate carrier and optical Confinement Heterostructure: SCH）層4、圧縮歪みの5nm厚のノンドープInGaAs層（In含有率15%、Ga含有率85%）を化学ビームエピタキシー（Chemical Beam Epitaxy: CBE）法により成長する。この際、原料には、V族元素として900℃で熱分解したアルシン（AsH<sub>3</sub>）、ホスフィン（PH<sub>3</sub>）を用い、I

II族元素としてトリメチルインジウム(TMI)、トリエチルガリウム(TEG)を用い、成長温度は550℃とした。その後、基板温度を800℃に保持して、アルシンとECRによりプラズマ化したNを基板に照射する。この時、アルシン流量を0.1sccm、N流量を10sccmとして、10分間放置した。ECRの投入パワーは30W、真空度は約 $5 \times 10^{-5}$ Torrでよい。これにより、圧縮歪みの5nm厚のノンドープInGaAs層が窒化処理されてInGaAsNになる。

【0032】上記窒素照射なしのInGaAsと本発明の処理後形成されたInGaAsN間で、フォトルミネッセンス(PL)により発光ピーク波長を比較すると、前者は1.1 $\mu$ mであるのに対して、窒化処理された後者は1.3 $\mu$ mに長波長化していることが確認された。これは、InGaAsのAsの一部がNに置換された為であり、1.3 $\mu$ m帯で発振するレーザ活性層として利用できることを意味する。X線回折による格子定数評価とPL波長の評価からNの置換量は約1%と見積もられた。

【0033】図1に戻って、このように窒化処理を行った後に、再びノンドープGaAsバリア層10nm、ノンドープInGaAs層5nmをCBE法により成長する。そして同様に窒化処理を行い、InGaAsN層を形成する。これを5回繰り返して5well構造の活性層5とし、5層目のInGaAsN層を形成した後に、50nm厚のノンドープGaAsSCH層6、1 $\mu$ m厚のp-InGaPクラッド層7、0.3 $\mu$ m厚のp-GaAsコンタクト層8を連続して成長する。これにより、温度の上昇によって容易にキャリアがオーバーフローしない充分深いwell構造を持った図1の如きレーザ構造を得る。

【0034】このように成長したウェハを図1のように導波路幅2 $\mu$ mのリッジ型に加工し、共振器長300 $\mu$ mのレーザとして評価した。室温連続動作でのしきい値は約20mAであり、パルス測定で特性温度 $T_0$ (これが大きい程、しきい値の温度に対する変化量が小さい)を測定したところ、 $T_0 = 150$ Kが得られた。この値は、従来のInGaAsP/InP系での平均的な値60Kに比較して、格段に優れている。よって、窒化処理、電流閉じ込め構造等の条件(例えば、上記の例で言えば、アルシン流量、N流量、基板温度などの条件)を最適化して成長膜質等を向上させ、低しきい値化することで、温度制御フリーで駆動できる通信用レーザとして適用できる。

【0035】以上の実施例ではInGaAs層の表面の窒化処理を行なったが、成長時にもNを供給してGaInNAsを成長した後に窒素組成をin-situ評価し、上記の様な窒化処理を行なってもよい。その場合、活性層のバンドダイアグラムは図1と同様で、井戸層の最も深い基底準位を構成する層すなわちレーザ発振に主

に寄与する層がこの窒化処理した層となる。従って、窒化処理した層の導入によってレーザの特性を向上させることができる。

【0036】尚、9は絶縁膜、10と11は夫々n側とp側の電極である。また、本実施例ではファブリペロ構造として説明したが、回折格子を形成して分布帰還型レーザなどとして構成してもよい。

#### 【0037】第2実施例

上記の第1実施例は、端面発光型レーザとして動作させたが、活性層近傍を同様の層構造にして、図2に断面を示す様な面発光レーザとして動作させることもできる。この構造について説明する。図2において、n-GaAs基板201上に、一層が $\lambda/4$ の厚さのn-GaAs/AlAs202から成る分布反射ミラー202、n-InGaPクラッド層203、GaAsスペーサ層204、図1と同様のInGaAsN/GaAs多層からなるMQW活性層(ただし10well)205、GaAsスペーサ層206、一層が $\lambda/4$ の厚さのp-GaAs/AlAs302から成る分布反射ミラー207、p-GaAsコンタクト層208を本発明による方法により結晶成長する。

【0038】このとき活性層は10wellと井戸層が厚いため、InGaAsNの歪みによる臨界膜厚に達してしまう場合もある。この場合、障壁層をInGaAP層として、井戸層と逆方向の歪みを導入して歪み補償型としてもよい。このとき、結晶にPが含まれると、窒化が深さ方向に設計値以上に進んでしまったときのストップパ層としての役割も果たす。これは、AsがNに置換される方向は熱力学的に安定な方向であるのに対して、Pと置換することはエネルギー的に高いためである。

【0039】GaAsスペーサ層204と206は共振器の長さの調整、注入電流の調整などの為に設けられ、光に対して透明な材料から成っている。活性層205上部の分布反射ミラー207およびコンタクト層208は直径10 $\mu$ mの円形にパターンニングされ、反射ミラー207および202で短共振器が構成されていて、基板201側から発振光を取り出す。この為に、基板201の下面は鏡面研磨されている。尚、209は絶縁層、210はコンタクト層208上に形成された電極、211は基板201の下面に形成された現状の電極でありその中央の開口部から発振光が取り出される。

【0040】この様な構造では共振器が短いため、構造の最適化によって極低しきい値が得られる。従来、この様な面発光レーザを1.3 $\mu$ m帯で発振させる場合、InGaAsP/InP系結晶の温度特性が悪いため、高温での発振特性が極端に悪く実用的ではなかった。本発明によって通信用波長帯での面発光レーザを実用化することができる。

【0041】また、面発光型の場合、共振器を構成する反射ミラーに本発明を適用してもよい。例えば、窒素で

置換して得たGaInAsNを用い、それをAlAsと積層して多層ミラーとすることができる。この構成により熱特性を良好にすることができる。

【0042】第1、第2実施例では、材料については、1.3μm帯ということでInGaAsの窒化によりInGaAsNを作製しているが、他のIII-V半導体でも作製が可能である。III族元素としてIn、Ga、Al、V族元素としてSb、As、Pなどを組み合わせ、V族元素の一部を窒化処理によってNに置換することで、広い範囲でエネルギーバンドギャップが異なる半導体薄膜を形成できる。これにより、様々な波長帯で同様の作製方法が利用できる。

#### 【0043】第3実施例

本発明による半導体の作製方法の第3の実施例は、第1、第2の実施例のように簡単に窒化物半導体を作製できることを利用して、量子井戸のバンド構造を自由に設定することを目的としている。活性層近傍のバンド構造の例を図3に示す。

【0044】第1、第2の実施例とは活性層の構造のみが異なるレーザ構造となっている。すなわち、7nm厚のInGaAs井戸層を成長した後に、第1、第2の実施例と同様に窒化処理を行って伝導帯準位を減少させるが、表面から5nmの深さの領域までInGaAsN304に窒化し、残り2nmはInGaAs303の状態を保っている。この処理の後に、2nm厚のInGaAs305、5nm厚のGaAsバリア層306、7nm厚のInGaAs井戸層、5nmの深さの窒化処理という繰り返しで、図3のように、階段状の井戸構造を持つ5wellの活性層が形成できる。尚、301はクラッド層、302はSCH層である。

【0045】この様な構造にすることで、伝導帯の高エネルギー側が比較的広くて低エネルギー側で狭くなった井戸構造へのキャリアの量子捕獲確率の向上などが期待でき、高速応答性に優れ高速変調が可能な半導体レーザを提供することができる。

#### 【0046】第4実施例

同様の作製方法で形成したもう1つのバンド構造の例を図4に示す。厚いInGaAs井戸層を10nm成長して、窒化処理の後に5nm厚のInGaAs層403、5nm厚のInGaAsN層404となる。続いて薄い3nm厚のGaAsバリア層405を形成することで、図4のような構造となる。尚、401はクラッド層、402はSCH層である。

【0047】この様な構造では、バリア層405が薄いので電子のトンネル効果を利用した高速光素子として機能させることができる。例えば、逆電界を印加しておいて超高速の光検出器として動作させられる。また、逆電界を印加した状態において高速変調するキャリアを注入することで電子のトンネル現象によって量子井戸内の基底量子準位と第1量子準位間で反転分布を生じさせて、

電子のサブバンド間遷移を利用した半導体レーザの超高速変調が可能になる。

【0048】この様に、窒化処理の条件、化合物半導体の組成、厚さなどを制御することで、同様の階段状バンドダイアグラムを持つ構造を簡単に作製することができる。

#### 【0049】第5実施例

本発明による第5の実施例は、図5のようにGaAs基板に凹凸を形成して、量子井戸にもその凹凸を反映させることで、量子細線構造のInGaAsNを作製する方法を提供するものである。

【0050】図5はリッジ部を共振器方向に沿って切断した断面図である。GaAs基板501上に深さ100nm、ピッチ200nmの回折格子502を形成し、第1実施例と同様にInGaPクラッド層503、GaAsSCH層504、InGaAs井戸層を成長する。井戸層では、回折格子の深さは少し浅くなるが凹凸形状があり、窒化処理を行なうと凹部における結合のポテンシャルが低いために、その部分を中心に窒化が進行する。したがって、凹部に沿って幅10nm程度の量子準位の低いInGaAsNの量子細線505を多数形成することができる。これを、第1実施例のように積層することで多重量子細線活性層506を作製することができる。尚、507はGaAsSCH層、508はInGaPクラッド層503、509はコンタクト層、510と511は電極である。動作は通常のDFBレーザと同じ様に単一縦モード発振が可能である。

【0051】レーザ構造は第2実施例で述べたような面発光型でもよい。この場合、凹凸形状は光の分布帰還動作は行なわない。この様に、量子細線構造とすることで、より低しきい値で高速動作の可能なレーザ等を提供できる。

#### 【0052】第6実施例

図6に、本発明による半導体デバイスを波長多重光LANシステムに適用する場合の各端末に接続される光-電気変換部(ノード)の構成例を示し、図7、図8にそのノード701を用いた光LANシステムの構成例を示す。

【0053】外部に接続された光ファイバ700を媒体として光信号がノード701に取り込まれ、分岐部702によりその一部が波長可変光フィルタ等を備えた受信装置703に入射する。この受信器703により所望の波長の光信号だけ取り出して信号検波を行う。これを制御回路で適当な方法で処理して端末に送る。受信装置703の光検出器には、第4実施例で説明した本発明のデバイスを用いてもよい。一方、ノード701から光信号を送信する場合には、上記実施例の半導体レーザ704を信号に従って制御回路で適当な方法で駆動し、振幅強度変調信号である出力光を合流部706を介して光伝送路700に入射せしめる。また、半導体レーザ及び波長

可変光フィルタを2つ以上の複数設けて、波長可変範囲を広げることできる。

【0054】光LANシステムのネットワークとして、図7に示すものはバス型であり、AおよびBの方向にノード801～805を接続しネットワーク化された多数の端末及びセンタ811～815を設置することができる。ただし、多数のノードを接続するためには、光の減衰を補償するために光増幅器を伝送路800上に直列に配することが必要となる。また、各端末811～815にノード801～805を2つ接続し伝送路を2本にすることでDQDB方式による双方向の伝送が可能となる。また、ネットワークの方式として、図7のAとBをつなげたループ型(図8に示す)やスター型あるいはそれらを複合した形態等のものでもよい。

【0055】図8において、900は光伝送路、901～906は光ノード、911～914は端末である。

【0056】

【発明の効果】本発明によって、以下の様な効果が奏される。

【0057】結晶成長中の窒素流量の綿密な制御が不要になる。窒素を含むIII-V族半導体層から構成されるヘテロエピタキシャル層の作製方法を提供できる。窒素を含むIII-V族半導体を活性層に用いた熱特性に優れた半導体レーザ等の光半導体装置を提供することができる。窒素を含むIII-V族半導体を活性層に用いた高速応答性に優れた半導体レーザ等の光半導体装置を提供できる。選択的に窒素置換を行なって、窒素を含む半導体層と含まない層の分布を形成して量子細線等の微細構造を簡単に作製できる。窒素を含むIII-V族半導体で形成される量子細線を活性層とした高効率な半導体レーザ等の光半導体装置を提供できる。熱特性に優れた1.3～1.55 $\mu$ m帯の光通信用の半導体レーザを提供できる。

【0058】また、本発明のデバイスを用いた安定且つ高速に動作する光送信機、光送受信機を実現できる。本発明のデバイスを用いた安定且つ高速に光通信を行なえる光通信システム、通信方法を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明による第1実施例であるリッジレ

ーザの横断面図である。

【図2】図2は本発明による第2実施例である面発光レーザの断面図である。

【図3】図3は本発明による作製方法を利用した第3実施例の活性層のバンド構造の例を示す図である。

【図4】図4は本発明による作製方法を利用した第4実施例の活性層のバンド構造の例を示す図である。

【図5】図5は本発明による第5実施例である量子細線レーザの縦断面図である。

10 【図6】図7、図8のシステムにおけるノードの構成例を示す模式図である。

【図7】本発明の光半導体装置を用いたバス型光LANシステムの構成例を示す模式図である。

【図8】本発明の光半導体装置を用いたループ型光LANシステムの構成例を示す模式図である。

【符号の説明】

1、201、501 基板

2 バッファ層

3、7、203、301、401、503、508 クラッド層

4、6、302、402、504、507 光閉じ込め層

5、205、506 活性層

8、208、509 コンタクト層

9、209 絶縁層

10、11、210、211、510、511 電極

202、207 分布反射ミラー

204、206 スペーサ層

303、305、403 InGaAs井戸層

30 304、404 InGaAsN井戸層

502 回折格子

505 InGaAsN量子細線

700、800、900 光伝送路

701、801～805、901～906 ノード

702 光分岐部

703 受信器

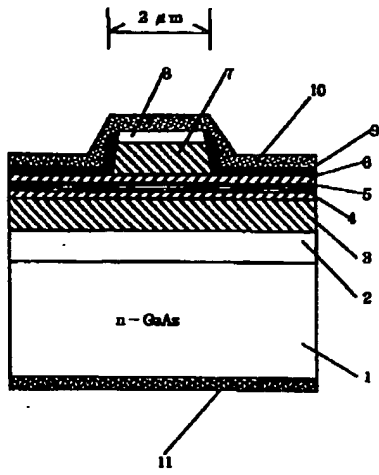
704 本発明のレーザ

706 合流部

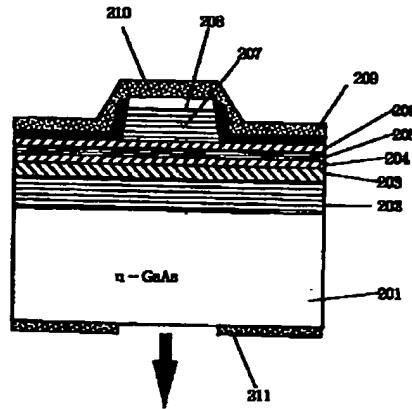
811～815、911～916 端末装置



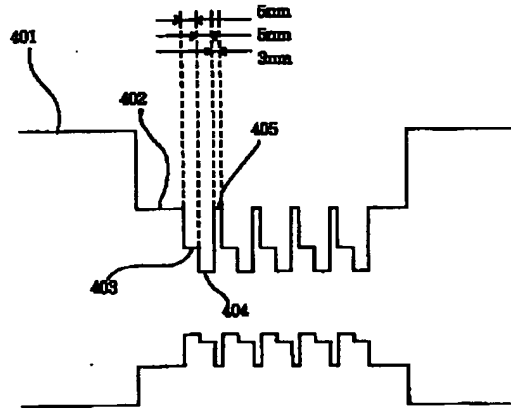
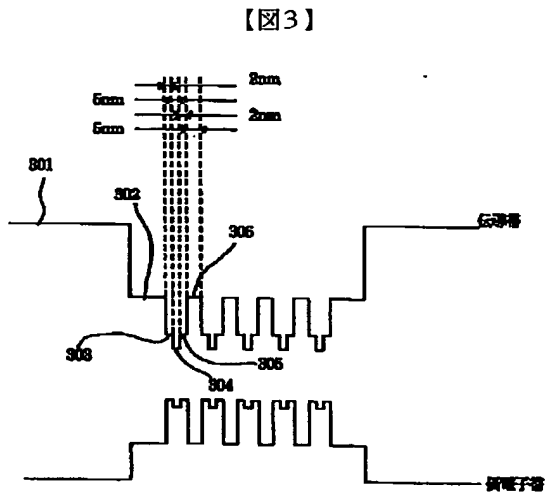
【図1】



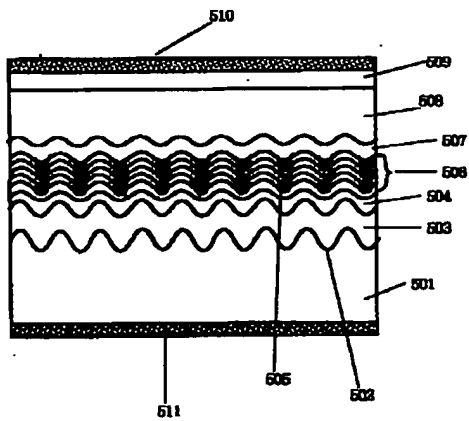
【図2】



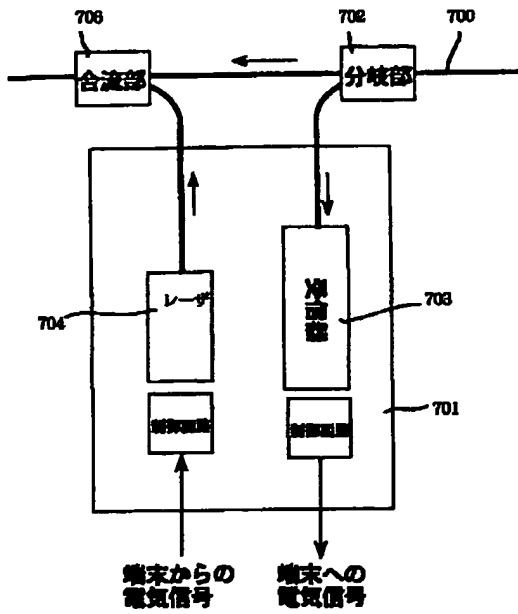
【図4】



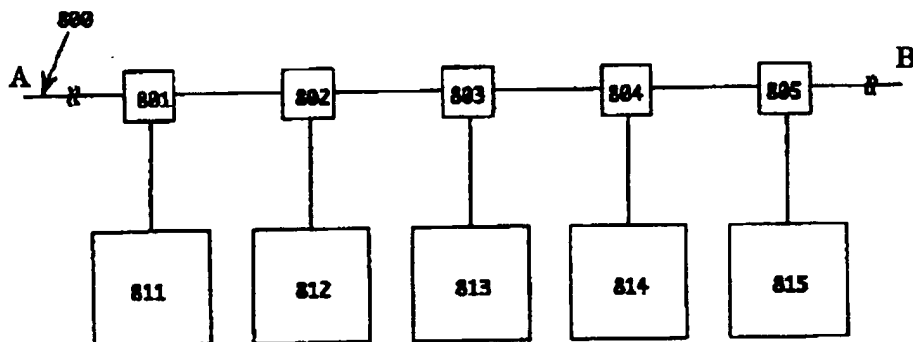
【図5】



【図6】



【図7】



800 光伝送路  
 801~805 光ノード  
 811~815 端末装置

【図8】

